

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ  
НАУКА  
ВЕЋУ ЗА ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКЕ НАУКЕ УНИВЕРЗИТЕТА  
У КРАГУЈЕВЦУ

На седници Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу одржаној 21.05.2020. године (број одлуке: 01-1/1311-8) и на седници Већа за техничко-технолошке науке одржаној 10.06.2020. године (број одлуке: IV-04-317/15) одређени смо за чланове Комисије за подношење извештаја за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације: **"Имплементација алгоритама вештачке интелигенције у обради биомедицинских сигнала као подршка одлучивању у дијагностици болести кичменог стуба"** у научној области примењена информатика у инжењерству кандидата **Тијане Шуштершич, маг. инж. маш.** На основу података којима располажемо достављамо следећи

## ИЗВЕШТАЈ

### 1. Научни приступ проблему предложеног нацрта докторске дисертације и процена научног доприноса крајњег исхода рада

У предложеном нацрту докторске дисертације кандидат је образложио предмет истраживања, наводећи актуелност и значај истраживања у области имплементације алгоритама вештачке интелигенције у обради биомедицинских сигнала као подршка одлучивању у дијагностици болести кичменог стуба.

Кандидат је истакао актуелност теме кроз одличну теоријску основу и научни приступ проблему. Мотивација за истраживање заснована је на чињеници да је лумбални болни синдром други по учесталости разлог јављања лекару. Сматра се да 15% свих одсуства са посла потиче од бола у леђима, а доминира као разлог боловања код популације млађе од четрдесет и пет година. Поред неспорно огромног здравственог проблема, лумбална дискус хернија представља и социјално-економски проблем који значајно оптерећује здравствени и социјални буџет држава, због издвајања финансијских средстава за медицинске трошкове и исплату надокнада за боловања. У литератури је присутна значајна неконзистентност у терминологији и синонимима који се користе при опису дискус херније. Под хернијацијом подразумевамо локализовани пролапс материјала диска ван граница простора интервертебралног диска. Интервертебрални диск обезбеђује стабилност у миру и распоређује оптерећење кичменог стуба у покрету. Промене које доводе до појаве пролапса диска су десикација, смањење садржаја протеогликана, мукоидна дегенерација и урастање фиброзног ткива. Предиспонирајући фактори настанка лумбалног бола су тешки физички послови са подизањем терета преко двадесет килограма, нарочито професионална употреба

тешког алата. Приближно 75% лумбалне флексије и екстензије се одиграва у лумбосакралном споју, 20% на нивоу L4/L5 и преосталих 5% на горњим лумбалним нивоима. То је разлог због чега су лумбалне дискус херније локализоване у 90% случајева у доња два нивоа, с тим да су оне на нивоу L5/S1 два пута чешће у односу на суседни горњи ниво.

Постављање дијагнозе лумбалне дискус херније није увек једноставно. Лекари користе три врсте информација за постављање дијагнозе: историја болести и физички преглед, електродијагностичке студије и најчешће, информације добијене помоћу радиологије - магнетне резонанце (енгл. *magnetic resonance imaging - MRI*). При дијагностици лумбалне дискус херније, златни стандард представља магнетна резонанца. Данашње уверење је да ако MRI не покаже хернирани диск, усваја се да диск хернија не постоји. Међутим, истраживачи су показали да су резултати добијени магнетном резонанцом 30% лажно позитивни. Други су пак коришћењем наивног Бајесовог класификатора утврдили да је вероватноћа догађаја лумбалне дискус херније, на основу само позитивног налаза MRI-ја, била 8%. То говори да је вероватноћа да не постоји лумбална дискус хернија, чак и ако постоји позитиван налаз MRI, 92%. На основу свега напред изнесеног, разумљиво је да се MRI скенирање не може користити као једини извор дијагностичких информација.

Поред MRI скенирања, друга метода за испитивање дискус херније је мануелни мишићни тест. У физикалном налазу болесника са лумбалном дискус хернијом уочава се анталгична сколиоза, бол који се шири ка нози, моторна слабост, испади сензибилитета као и хипорефлексија. Позитивни су коренски тестови истезања, као и интензивирање бола при палпацији у пределу ишијалгичног жљеба. Због чињенице да нервни корен у лумбалној регији излази испод истоименог педикла, и да је интервертебрални простор далеко испод педикла, пролабирани диск врши компресију на нервни корен који излази из интервертебралног форамена једног нивоа испод. Стога је, код унилатералне дискус херније на нивоу L4/L5, компромитован корен L5 са карактеристичним испадом сензибилитета на предње латералној страни потколенице, горњој страни стопала, као и испад сензибилитета према палцу стопала. Моторна слабост захвата *m.tibialis anterior* и *m.extensor halucis* због чега болесник има слабост стајања на пети. Код унилатералне дискус херније на нивоу L5/S1 компромитован је корен S1, са карактеристичним испадом сензибилитета на задњој страни потколенице, спољашњем делу пете, и испад сензибилитета према малом прсту стопала. Моторна слабост захвата перонеалну мускулатуру и *m.triceps surae*, због чега је ослабљено стајање на прстима.

Управо се слабост стајања на пети и прстима одређује мануелним мишићним тестом. У току тестирања мора се применити одговарајућа техника како би се обезбедили валидни резултати. Потребно је уклонити одећу да би се јасно уочила контракција мишића. Такође, неопходно је искључити активност агонистичких група мишића. Главна идеја иза иницијалног прегледа пацијента од стране лекара састоји се од теста који укључује испитивање колико јако пацијент може притиснути стопала као контрапритисак на лекарску руку. Исти поступак се понавља за притисак предњег дела стопала и пете на руку лекара. Мануелни тест испитивања мишићне снаге код болесника је релативно једноставан

за извођење и не захтева никакву специјализовану опрему, што се сматра његовом основном предношћу. Упркос овим предностима, он има и своја ограничења. Бодовање мишићне слабости је субјективно и засновано на перцепцији испитивача. Постоји такође и значајна варијабилност између пацијената, јер су неки испитаници јачи од других. Тест не узима у обзир мишићно-скелетна оболења која могу учинити тестирање болним, као што су тендинопатија или артритис. Тест зависи од мотивисаности пацијента, која може бити недовољна код неких пацијената, због болова, неразумевања инструкција, психолошких разлога итд. Треба такође нагласити да резултати могу варирати зависно од искуства лекара, а на субјективне одлуке лекара утичу многи фактори као што су окружење и емоционално стање особе (умор, тренутно окружење итд.).

Све претходно изложено представља добру основу за развој метода за аутоматску детекцију дискус херније обрадом различитих биомедицинских сигнала (MRI слика, читавања са сензора итд.) Компјутерски систем дијагностике може бити од помоћи за стварање дијагностичких резултата у кратком времену. Уз то, може се повећати прецизност дијагнозе и елиминисати људске грешке изазване умором и могућим визуелним грешкама радиолога.

Поред анализе слика, ради аутоматске детекције и класификације лумбалне дискус херније, у оквиру тезе биће представљен и развој платформе за објективно мерење и одређивање нивоа дискус херније на основу измерених вредности сила ослањања. Ова метода може да се искористи као помоћ при одлучивању и постављању тачне дијагностике поред златног стандарда.

Узимајући у обзир претходно наведено, кандидат је предложио програм истраживања у наведеној области, који је у складу са савременим научним методама. Истраживање се заснива на експерименталним снимањима, али и софтверској и хардверској имплементацији алгоритама.

Имајући у виду приказ проблема проучавања, полазне хипотезе и предложене научне методе истраживања, приказани нацрт докторске дисертације садржи све елементе који су потребни, да би се у изради докторске дисертације дао научни допринос, значајан за даљи развој научних истраживања у области имплементације алгоритама вештачке интелигенције у обради биомедицинских сигнала као подршка одлучивању у дијагностици болести кичменог стуба.

#### Веза са досадашњим истраживањима

У досадашњем научно-истраживачком раду кандидат је проучавао алгоритме вештачке интелигенције у обради биомедицинских сигнала за потребе дијагностике болести кичменог стуба. Континуитет који би кандидат у оквиру израде докторске дисертације остварио односи се на имплементацију различитих алгоритама вештачке интелигенције, софтверски и хардверски у обради биомедицинских сигнала који би служили као подршка одлучивању у дијагностици болести кичменог стуба, специфично дискус херније. При томе,

предстојећа опсежна истраживања кандидата ослањала би се на претходна истраживања и публиковане радове.

Што се тиче обраде MRI снимака и аутоматске детекције болести кичменог стуба, мора се истаћи да на овим сликама веома тешко извршити сегментацију региона од интереса, јер слике имају делимичне ефекте волумена која могу замаглити разграничење између различитих врста ткива. Штавише, локализација лумбалних дискова представља изазован проблем због широког спектра варијабилности у величини, облику, броју и изгледу дискова и пршљенова. Такође, тачна сегментација дуралне вреће није једноставна, због варијација у вредностима сиве боје и изобличења облика због различитих неправилности. Тренутни доступни радови о аутоматској детекцији заснивају се на полуаутоматским методама где се иницијална контура или положај неких карактеристичних тачака ручно поставља, након чега улогу преузимају алгоритми за сегментацију. Различити аутори су предлагали мануелну сегментацију, на основу које се врши касније аутоматска екстракција неких карактеристичних вредности које описују дискус хернију (инциденција карлице (енгл. *pelvic incidence*), нагиб карлице (енгл. *pelvic tilt*), угао леђне лордозе (енгл. *lumbar lordosis angle*), сакрални нагиб (енгл. *sacral slope*), карлични радијус (енгл. *pelvic radius*), степен спондилолистезе (енгл. *grade of spondylolisthesis*)<sup>1</sup>. Са аспекта примене метода за сегментацију, у литератури се могу наћи предлози различитих алгоритама који се грубо могу поделити на оне које се ослањају на графичке моделе<sup>2</sup>, пробабилистичке моделе<sup>3</sup>, тзв. моделе слива (енгл. *watershed model*)<sup>4</sup>, алгоритми засновани на регистрацији атласа (енгл. *atlas registration*)<sup>5</sup>, графова, моделе статистичког облика (енгл. *statistical shape model*)<sup>6</sup>, анизотропно оријентисане (енгл. *anisotropic oriented flux*)<sup>7</sup>, и регресионе и класификационе моделе случајних шума (енгл. *random forest*)<sup>8</sup>. Горе споменуте методе заснивају се на дискретним класификацијама која враћају ограничене и понекад нетачне информације о ткиву, па је додатна корекција решења неопходна. Једно од решења које нуди аутоматску

<sup>1</sup> I. Handayani, "Application of K-Nearest Neighbor Algorithm on Classification of Disk Hernia and Spondylolisthesis in Vertebral Column," Indonesian Journal of Information Systems, vol. 2, no. 1, pp. 57-66, 2019.

<sup>2</sup> S. Schmidt, J. Kappes, M. Bergholdt et al., "Spine detection and labeling using a parts-based graphical model." in Information Processing in Medical Imaging, vol. 20, pp. 122-133, Springer, 2007.

<sup>3</sup> J. J. Corso, R. S. Alomari, and V. Chaudhary, "Lumbar disc localization and labeling with a probabilistic model on both pixel and object features." in Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention-MICCAI, pp. 202-210, Springer, 2008.

<sup>4</sup> C. Chevretil, F. Chéret, C.-E. Aubin, and G. Grimard, "Texture analysis for automatic segmentation of intervertebral disks of scoliotic spines from MR images," IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, vol. 13, no. 4, pp. 608-620, 2009.

<sup>5</sup> S. K. Michopoulou, L. Costaridou, E. Panagiotopoulos, R. Speller, G. Panayiotakis, and A. Todd-Pokropek, "Atlas-based segmentation of degenerated lumbar intervertebral discs from MR images of the spine," IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 56, no. 9, pp. 2225-2231, 2009.

<sup>6</sup> A. Neubert, J. Fripp, C. Engstrom et al., "Automated detection, 3D segmentation and analysis of high resolution spine MR images using statistical shape models," Physics in Medicine and Biology, vol. 57, no. 24, pp. 8357-8376, 2012.

<sup>7</sup> M. W. K. Law, K. Tay, A. Leung, G. J. Garvin, and S. Li, "Intervertebral disc segmentation in MR images using anisotropic oriented flux," Medical Image Analysis, vol. 17, no. 1, pp. 43-61, 2013.

<sup>8</sup> B. Glocker, D. Zikic, E. Konukoglu, D. R. Haynor, and A. Criminisi, "Vertebrae localization in pathological spine CT via dense classification from sparse annotations," in Proceedings of the International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, vol. 16, pp. 262-270, Springer, 2013.

детекцију кичмених пршљенова, без мануелне корекције, засновано на моделу активног изгледа (енгл. *active appearance model*) је рад Гавел и сар.<sup>9</sup>, које применом више метода постижу високу тачност сегментације пршљенова, али не узимају у обзир патологије кичменог стуба нити разматрају детекцију и класификацију различитих болести кичменог стуба.

Треба напоменути да су нека истраживања примењивала Бајесову теорему, као алгоритам вештачке интелигенције, у дијагностиковању дискус херније. Те студије су користиле MRI снимке као улазне податке и испитивале су колико је MRI слика лажно позитивна<sup>10,11</sup> или су пак теорему користиле да би утврдиле вероватноћу да пацијент има хернирани диск, када је познат само позитиван MRI<sup>12</sup>. Закључили су да MRI слике нису апсолутно поуздан извор дијагностичких информација и да их не би требало користити као једину дијагностичку меру, пошто је вероватноћа настанка дискус херније, када је познат само позитиван MRI, била само 8%<sup>12</sup>. Алавнех и сар.<sup>13</sup> применили су, између осталих класификатора, наивни Бајесов класификатор у дијагностици херније лумбалног диска из MRI сагиталног приказа кичме и постигли скоро 95% тачности дијагностике. Друго истраживање је доказало адекватност Бајесових мрежа са 20 чворова за биомеханичко моделирање како би се предвидела компресија и сила смицања користећи статички биомеханички модел сила кичменог стуба током подизања<sup>14</sup>, али дато истраживање није анализирано повезаност са хернираним дисковима.

Што се тиче коришћења силе ослањања у стопалу, као индикатор неких болести, 1986. године је Лорд<sup>15</sup> у свом раду испитивао нормалне статичке и динамичке обрасце притиска и наговестио да реуматоидни артритис, дијабетес и друге болести утичу на ове обрасце. Међутим, тек недавно су мерења притиска у стопалу нашла своју примену у истраживањима ходања и људског држања, а у сврху дијагностике проблема са доњим екстремитетима, у сврху дизајна обуће, спортске биомеханике, превенције повреда

---

<sup>9</sup> D. Gawel, P. Glówka, T. Kotwicki, M. Nowak, "Automatic spine tissue segmentation from MRI data based on cascade of boosted classifiers and active appearance model," *BioMed research international*, pp. 1-13, 2018.

<sup>10</sup> S. Boden, D. Davis, D. T.S. and e. al., "Lumbar spine in asymptomatic subjects: A prospective investigation," *The Journal of Bone & Joint Surgery*, vol. 72, pp. 403-407, 1990.

<sup>11</sup> M. Jensen, M. Brant-Zawadzki, N. Obuchowski, M. Modic, D. Malkasian and J. Ross, "Magnetic resonance imaging of the lumbar spine in people without back pain," *New England Journal of Medicine*, vol. 331, pp. 69-73, 1994.

<sup>12</sup> D. Trafimow and J. Trafimow, "The shocking implications of Bayes' theorem for diagnosing herniated nucleus pulposus based on MRI scans," *Cogent Medicine*, vol. 3, no. 1, pp. 1133270-1-7, 2016.

<sup>13</sup> K. Alawneh, M. Al-dwiekat, M. Alsmirat and M. Al- Ayyoub, "Computer-aided diagnosis of lumbar disc herniation," in *Information and Communication Systems (ICICS)*, 2015 6th International Conference on (pp. 286-291). IEEE., 2015, April.

<sup>14</sup> R. Hughes, "Using a Bayesian network to predict L5/S1 spinal compression force from posture, hand load, anthropometry, and disc injury status," *Applied bionics and biomechanics*, pp. 1-7, 2017.

<sup>15</sup> M. Lord, D. Reynolds and J. Hughes, "Foot pressure measurement: a review of clinical findings," *J Biomed Eng*, vol. 8, no. 4, pp. 283-294, 1986.

итд.<sup>16,17,18</sup>. Предности таквих мерења су неинвазивност, економичност и чињеница да мерења трају углавном до неколико минута<sup>19</sup>. Неке антропометријске студије истражиле су идентификацију пола у форензичким научним студијама и откриле значајне разлике између костију стопала мушкараца и жена<sup>20</sup>. Мурфи и сар.<sup>21</sup> упоређивали су подручје додира средњег дела стопала и површински притисак код мушкараца и жена и нису открили разлике међу половима у четири регије стопала. Недостатак њихове студије је тај што су упоређивали само средњи део стопала као подручје контакта.

Како извештава Перниасами<sup>22</sup>, други истраживачи су се бавили карактеристикама притиска током ходања (подручје контакта стопала и произведене силе), како би открили обрасце расподеле притиска повезане са различитим болестима. У том смислу, многи истраживачи су се усредсредили на проблеме са улцерацијом стопала као последица дијабетеса који може изазвати прекомерни површински притисак стопала на одређеним деловима испод стопала. Треба нагласити да је дијабетес посебно интересантна тема за истраживање због повећаног броја оболелих<sup>23</sup>, што значи да су здравствени трошкови веома велики<sup>24</sup>. Побољшање равнотеже сматра се веома важним у спортским и биомедицинским применама. Примена платформи са сензорима у спорту се користи при тренинзима равнотеже фудбалера<sup>25</sup> и оптерећења ногу за време трчања<sup>26</sup>. Истраживачи су такође указали на чињеницу да расподела силе ослањања може бити повезана са нестабилношћу код старијих особа и особа са поремећајем равнотеже, а подаци о расподели притиска на стопалу могу се користити за побољшање равнотеже<sup>25</sup>.

---

<sup>16</sup> P. Bonato, "Wearable sensors/systems and their impact on biomedical engineering," *IEEE Eng Med Biol Mag*, vol. 22, pp. 18–20, 2003.

<sup>17</sup> D. Margolis, J. Knauss, W. Bilker and M. Baumgarten, "Medical conditions as risk factors for pressure ulcers in an outpatient setting," *Age Ageing*, vol. 32, pp. 259–264, 2003.

<sup>18</sup> K. Hung, Y. Zhang and B. Tai, "Wearable Medical Devices for Tele-Home Healthcare," in *Proceedings of 26th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (IEMBS '04)*, San Francisco, CA, USA, 1–5 September 2004, pp. 5384–5387.

<sup>19</sup> A. A. Razak, A. Zayegh, R. Begg and Y. Wahab, "Foot plantar pressure measurement system: A review," *Sensors*, vol. 12, no. 7, pp. 9884–9912, 2012.

<sup>20</sup> S. Smith, "Attribution of foot bones to sex and population groups," *J Forensic Sci*, vol. 42, no. 2, pp. 186–195, 1997.

<sup>21</sup> D. Murphy, B. Beynon, J. Michelson and P. Vacek, "Efficacy of plantar loading parameters during gait in terms of reliability, variability, effect of gender and relationship between contact area and plantar pressure," *Foot Ankle Int*, vol. 26, no. 2, p. 171–179, 2005.

<sup>22</sup> R. Periyasamy, A. Mishra, S. Anand, A.C. Ammini, "Preliminary investigation of foot pressure distribution variation in men and women adults while standing," *The Foot*, vol. 21, no. 3, pp. 142–148, 2011.

<sup>23</sup> S. Wild, G. Roglic, A. Green, R. Sicree and H. King, "Global prevalence of diabetes: Estimates for the year 2000 and projections for 2030," *Diabetes Care*, vol. 27, p. 1047–1053, 2004.

<sup>24</sup> CDC, "Diabetes Public Health Resource," *Diabetes DDT*, 2016. [Online]. Available: <https://www.cdc.gov/diabetes/home/index.html>. [Accessed 21 March 2020].

<sup>25</sup> A. Gioftsidou, P. Malliou, G. Pafis, A. Beneka, G. Godolias, C. Maganaris, "The effects of soccer training and timing of balance training on balance ability," *European Journal Applied Physycs*, vol. 96, pp. 659–664, 2006.

<sup>26</sup> R. Best and R. Begg, "Overview of Movement Analysis and Gait Features", In *Computational Intelligence for Movement Sciences: Neural Networks and Other Emerging Techniques*, 1st ed., Idea Group: Atlanta, GA, USA, pp. 1–69, 2006.

Друга област истраживања која се односи на побољшање флексије диска пацијента је испитивање пре и после оперативног стања. Боустани и сар.<sup>27</sup> анализирали су модел лумбосакралне кичме методом коначних елемената како би израчунали избочења задњег дела диска пре и после имплантације динамичког имплантата за различите случајеве оптерећења. Закључили су да је величина избочења задњег дела диска смањена у односу на стање пре имплантата за случајеве продужења, бочног савијања и аксијалне ротације. С друге стране, за случај флексије, испупчење диска се обично повећавало.

Мало је доступних информација о расподели силе ослањања стопала приликом стајања, јер су углавном испитиване силе приликом ходања<sup>26</sup>. Штавише, прегледом доступне литературе, ниједно истраживање није испитало расподелу сила стопала ради дијагностике и утврђивања нивоа диск херније. Предложена докторска дисертација је прва студија тог типа која примењује експериментална мерења силе ослањања стопала ради локализације нивоа диск херније. Основу за овакво мерење представља описани поступак прегледа пацијента од стране лекара, користећи методу мануелног мишићног теста који укључује испитивање колико јако пацијент може да притисне стопалом руку лекара. Стога предложена докторска дисертација предлаже објективни систем мерења са сензорима, комбинован са применом алгоритама вештачке интелигенције, ради идентификације лумбалне дискус херније. С обзиром да MRI представља златни стандард у дијагностици дискус херније, сегментација региона од интереса на MRI снимцима представља незаобилазан корак у дисертацији и основу за даља поређења и анализе.

Значајнија истраживања у области примене алгоритама вештачке интелигенције на биомедицинским сигнаlima у циљу детекције различитих болести остварена су током последње две деценије. Што се тиче система за подршку одлучивању при дијагностици дискус херније, посебна пажња у проучавањима је посвећена MRI снимцима. Па ипак, до сада већина истраживања представљају полу-аутоматске методе, и нико није анализирао више од једног моделитета снимања. Публиковани радови из области коришћења сензора силе ослањања за дијагностику дискус херније не постоје, нарочито не за потребе детектовања побољшања мишићне снаге након операције или физикалне терапије. Претходно наведени радови представљају добру основу за даљи научни рад и развој теме докторске дисертације.

## **2. Образложење предмета, метода и циља који уверљиво упућују да је предложена тема од значаја за развој науке**

Предмет, циљеви и хипотезе ове дисертације обухватају следеће

Предмет рада ове докторске дисертације је анализа биомедицинских сигнала за аутоматску детекцију дискус херније и може се поделити на два независна, а уско спрегнута под-циља. Први циљ јесте аутоматска детекција пршљенова и међупршљенских дискова на

<sup>27</sup> H.N. Boustani, T. Zander, A.C. Disch, A. Rohlmann, "Pedicule-screw-based dynamic implants may increase posterior intervertebral disc bulging during flexion". Biomedizinische Technik (Berl), vol. 56, no. 6, pp. 327-331, 2011.

MRI снимцима, на основу којих се врши класификација здрав или оболео међупршљенски диск и где се налази тј. у ком нивоу (L4/L5, L5/S1, итд.). За тренинг базу ће бити коришћени MRI снимци из јавно доступних база, са могућношћу тестирања алгоритама на снимцима реалних пацијената из неког од клиничких центара Србије. Мануелна сегментација, као и коначна одлука о дијагнози ће бити одређена на основу стручног мишљења лекара.

Други циљ је анализа сигнала ослањања стопала применом различитих алгоритама вештачке интелигенције ради објективне дијагностике нивоа дискус херније ван златног стандарда, као и детектовања смањења мишићне слабости након операције и физикалне терапије. За потребе снимања сигнала ослањања коришћена је оригинално креирана платформа за мерење која се састоји од два идентична панела (димензија 32x30cm) са одређеном површином за границе стопала. Конструисани систем детектује вредности силе стопала на четири тачке сваке ноге помоћу следећих сензора: L1-L4 сензори за лево стопало и D1-D4 за десно стопало. Стандардни FlexiForce сензори, са опсегом силе од 0 до 440N се монтирају на мерну плочу по посебном распореду и представљају карактеристичне тачке ослањања човека. Мерење се започиње тако што болесник стаје на мерну платформу са оба стопала. Пре било ког мерења, сваком пацијенту се објашњава и показује како да изведе три корака приликом испитивања:

1. испитаник стоји са обе ноге равномерно распоређујући тежину на обе ноге,
2. испитаник стоји на обе ноге, али се ослања само на прстима (овде се термин прсти користи за ослањање на метатарзалним главама),
3. испитаник стоји на обе ноге, али се ослања само на пете стопала.

Сва три дела поступка изводе се један за другим у једном непрекидном снимању. Такође је важно да се у време мерења не праве нагли покрети, као што је савијање тела бочно или неконтролисано померање руку.

Сходно дефинисаним циљевима, и сама теза ће бити подељена на два дела, аутоматска детекција и одлучивање засновано на MRI снимцима и на основу снимљених сигнала са сензора. Сlike ће бити у стандардном DICOM медицинском формату, а обрада слике ће бити урађена коришћењем неког од комерцијалних софтвера и програмских језика (нпр. Python, Matlab). Мерења помоћу платформе ће бити анализирана коришћењем комерцијалних софтвера (нпр. Matlab) и коришћењем хардвера односно ФПГА чипа. Биће примењено више алгоритама у области вештачке интелигенције, како би се одредио адекватан начин анализирања доступних биомедицинских сигнала који даје највећу тачност у дијагностици. Такође, један од циљева ће бити да се имплементирају поједини алгоритми на ФПГА чипу како би се задовољила анализа у реалном времену и развој преносиве платформе са могућношћу обраде података на месту дијагностике. Главни доприноси предложеног система и ове тезе су:

- потпуна аутоматизација процеса сегментације пршљенова и међупршљенских дискова на MRI снимцима,



- аутоматско одређивање атрибута на основу детектованих региона од интереса који улазе као атрибути у алгоритме вештачке интелигенције за одлучивање о положају хернираног диска (аутоматско постављање дијагнозе),
- сигнали (слике и читавања са сензора) ће бити обрађени коришћењем више алгоритама, анализом помоћу софтвера и хардвера,
- примена оригиналног хардверског система у сврху објективне дијагностике диск херније,
- платформу са ФПГА чипом је могуће повезати на преносиву платформу за мерење силе стопала, постижући потражњу за преносивом теренском платформом за објективну дијагностику, независно од било ког рачунара/лаптопа/оперативног система итд.,
- преносиви уређај је прилагођен кориснику и могућа је анализа у реалном времену, смањујући тако време и ред за дијагностику пацијената,
- систем може да детектује побољшање снаге мишића након операције и физикалне терапије у поређењу са стањем пре операције, што није истражено ни у једном другом раду.

Предност овог приступа огледа се најпре у аутоматизацији и неинвазивности, а затим у објективном дијагностиковању нивоа дискус херније и побољшању мишићне слабости након операције и физикалне терапије. Главна предност је што се применом процесора на бази ФПГА остварује анализа директно на хардверу. На основу резултата, могуће је извршити дизајн чипа специјализованог за анализу сигнала ослањања стопала. То значи да ФПГА чип у овој докторској дисертацији служи као развојни алат за предлог дизајна чипа у производњи који би процесирао биомедицинске сигнале, а не као коначни циљни чип. Такође, неки аутори оправдавају неопходност коришћења ФПГА при обради медицинских сигнала са креираних уређаја објашњавајући да су нпр. у земљама трећег света попут Индије лекари ретко доступни у руралним срединама (само 2% лекара живи у руралним срединама). Стога проблеми слични дијагнози дискус херније захтевају употребу јефтине, преносне опреме, која троши мале количине енергије за рад, а великим брзинама обрађује сигнале и има могућност дијагностике у реалном времену, што има за циљ да обезбеди информације пацијентима који живе у руралним срединама да се обрате лекарима ради неопходне неге. Резултати добијени овом тезом могу наћи велику примену у болницама, због могућности смањења редова за дијагностичка снимања (СТ, MRI итд.) и избегавање зрачења.

Као резултат досадашњих истраживања и проучавања резултата других аутора, у области анализе биомедицинских сигнала и имплементације различитих алгоритама вештачке интелигенције у циљу детекције болести кичменог стуба, настале су основне хипотезе предложене дисертације:

1. Помоћу алгоритама вештачке интелигенције могуће је са високом тачношћу и са уштедом у времену, извршити дијагнозу лумбалне дискус херније.
2. При ослањању стопала (пета и прсти), када је хернија диска присутна на нивоу Л4-Л5 или Л5-С1, нерви трпе притисак на том нивоу, што изазива слабост мишића на одговарајућем делу леве или десне ноге.
3. Креирани систем са платформом и сензорима је у стању да открије побољшање у мишићној снази након операције и физикалне терапије у поређењу са стањем које је било пре операције.
4. Коришћењем ФПГА чипа могуће је извршити комуникацију мерна платформа - чип за анализу и на тај начин креирати портабилни систем за брзу дијагностику дискус херније.
5. Комбинацијом резултата добијених анализом MRI и снимљених вредности силе ослањања могуће је издвојити шаблоне присутних код пацијената са истим типом дискус херније, што ће повећати тачност дијагностике у односу на то када се користи само један модалитет снимања.

#### Методe истраживања

У току израде докторске дисертације биће коришћене савремене научно-истраживачке методе. Коришћене методе се могу поделити у два дела: методе обраде медицинске слике и методе обраде биомедицинских сигнала.

Методe обраде медицинских слика комбинују више техника машинског учења (енгл. *machine learning*) како би се препознали и одвојили различити региони од интереса. Након учитавања слика, потребно је извршити иницијално филтрирање, након чега се примењују алгоритми аутоматске сегментације (нпр. модел активног изгледа) и ревизија добијених контура интерполационим функцијама. На основу детектованих контура врши се екстракција параметара о локацији, облику и изгледу дискуса и околног ткива, који се прослеђују као атрибути класификатору за доношење коначне одлуке о дијагнози. Алгоритми ће бити тренирани на јавно доступним и отвореним базама MRI снимака (линкови неких од доступних база налазе се у препорученој литератури).

- Експериментално испитивање

За експериментални део ове докторске дисертације биће коришћена следећа опрема: платформа која се састоји од два идентична панела (димензија 32x30cm) са одређеном површином за границе стопала. Конструисани систем детектује вредности силе стопала на четири тачке сваке ноге помоћу следећих сензора: Л1-Л4 сензори за лево стопало и Д1-Д4 за десно стопало. Стандардни FlexiForce сензори, са опсегом силе од 0 до 440 N се монтирају на мерну плочу по посебном распореду и представљају карактеристичне тачке ослањања човека. Сензори су конструисани у два слоја. Подлога је израђена од полиестера или полиамида на високој температури. У сваком слоју присутан је проводни материјал

(сребро), а слој мастила који се налази на врху сензора је осетљив на додир. Адхезивни материјал је коришћен да споји два слоја подлоге. Сребрни круг је активна област на врху сензора где је мастило осетљиво на додир. Цела површина сензора се третира као једна тачка што значи да ће иста сила бити у средини и на ивицама сензора.

Када се осетљива област сензора активира, сигнал се шаље микроконтролеру који ће извршити претварање примљених података и он се затим прослеђује рачунару преко УСБ порта. Напајање развојне плоче се постиже повезивањем са рачунаром преко УСБ-а, а сензори на мерној плочи се напајају преко CFC 8 конектора.

Симетрична дистрибуција четири FlexiForce сензора видљива је приликом упоређивања два панела. Излазни сигнал са сензора се подешава помоћу калибрације да би се добила прецизнија вредност: фунта (lbs), килограми (kg), Њутни (N). Коришћењем објашњене платформе, биће снимљене вредности силе ослањања код пацијената дијагностикованих са диск хернијом, као и здравих људи.

- Софтверска имплементација алгоритама вештачке интелигенције

Софтверске методе подразумеваће обраду добијених сигнала ради издвајања објашњених сегмената ослањања на прстима, петама и при нормалном ослањању на цело стопало. Затим ће бити примењени различити алгоритми вештачке интелигенције како би се донео коначан закључак о дијагнози. Неки од алгоритама су нпр. наивни Бајес, фази логика, стабла одлучивања, К најближих суседа, метода потпорних вектора, логистичка регресија. Наивни Бајесов класификатор у великој мери поједностављује учење под претпоставком да су функције независне за одређену класу, што јесте случај код херниације диска. У зависности од природе модела, наивни Бајесов класификатор се показао да може врло ефикасно обучавати у области машинског учења. С друге стране, логика која стоји иза детектовања херније диска заснива се на правилима АКО-ОНДА, и због тога је фази логика логичан избор који ће се користити у решавању таквих проблема. Такође, због своје АКО-ОНДА конструкције, стабло одлучивања се намеће као логичан избор за решавање проблема одређивања нивоа дискус херније, јер представља проблем категоризације где се атрибути или карактеристике систематски проверавају да би се одредила коначна категорија.

- Хардверска имплементација алгоритама вештачке интелигенције

За потребе убрзања алгоритама, њиховог рада у реалном времену, али и креирања јединствене преносиве дијагностичке јединице, биће коришћена Nexys Video Artix-7 FPGA: Trainer Board for Multimedia Applications плоча. Ова плоча је комплетна развојна платформа заснована на Xilinx Artix®-7 FPGA. Поред једног од најновијих чипова Artix®-7 XC7A200T FPGA (XC7A200T-1SBG484C), платформа поседује унутрашњи осилатор фреквенције преко преко 450MHz, 512MB 800MHz DDR3 меморије, 32MB Quad-SPI flash меморије, 13 Mbits брзе блок RAM меморије, те неколико И/О уређаја и портова (слот за микро SD картицу, USB-UART мост, HDMI улаз) који омогућавају кориснику да обавља комплексне имплементације различитих алгоритама. Ова плоча је посебно намењена за обраду сигнала,

јер између осталог поседује и 740 DSP слајсева. Напајање плоче се врши директно из електричне мреже, тако да се Nexus Video плоча може користити независно од рачунара (када се једном испрограмира) да би се створила преносива дизајнерска платформа. Предност коришћења ФПГА је могућност тестирања будућег портабилног уређаја за дијагностику у облику преносиве опреме интегрисане у вишејезгрене CPU платформе, као и специфично, на основу теста, дизајниран чип прилагођен истраживаном дијагностичком проблему (*енгл. custom design chip*), који би у серијској производњи био јефтинији од микроконтролера.

#### Оквирни садржај докторске дисертације

1. Увод
2. Анатомија лумбалног дела кичменог стуба и проблем хернијације диска
3. Методе дијагностиковања хернијације диска
4. Аутоматска детекција пршљенова и међупршљенских дискова на основу MRI слика
5. Класификација нивоа дискус херније на основу издвојених атрибута са слике
6. Креирање експерименталног сетапа за мерење силе ослањања
7. Експериментално мерење силе ослањања помоћу креираног система
8. Примена различитих алгоритама вештачке интелигенције у анализи снимљених сигнала силе ослањања
9. Примена ФПГА чипа у процесу анализе сигнала силе ослањања
10. Верификација добијених резултата
11. Закључна разматрања
12. Литература

У поглављу 1 биће дефинисан предмет и циљ дисертације, као и полазне хипотезе. Биће приказан и преглед литературе са описом претходних истраживања која су имала за тему обраду сигнала за потребе детекције хернијације диска.

У поглављу 2 биће објашњена анатомија лумбалног дела кичменог стуба. Такође, биће описан проблем дискус херније лумбосакралне регије, као и узроци који доводе до појаве оваквог проблема.

У поглављу 3 биће описане конвенционалне методе дијагностике хернијације диска (дискографија, компјутеризована томографија, магнетна резонанца и традиционална радиографија). Посебна пажња биће посвећена мануелном мишићном тесту који је златни стандард у иницијалном прегледу, а који је иницирао идеју и мотивисао кандидата да

развије методологију за израду ове докторске дисертације, ради успостаљања објективне методе за дијагностику.

У поглављу 4 биће описана методологија аутоматске детекције пршљенова и међупршљенских дискова на основу MRI снимака. Поред иницијалне филтрације, неки од алгоритама детекције који ће бити разматрани су активне контуре или модел активног изгледа, који су се у литератури показали као успешни. Овим алгоритмима је могуће додати методе дубоког учења за повећање успешности детекције.

У поглављу 5 биће описана класификација нивоа дискус херније на основу издвојених атрибута са слике обрађених у поглављу 4. Класификатори који ће се тестирати могу се категорисати као традиционални (неуронске мреже, наивни бајес, стабла одлучивања) и модерни алгоритми (дубоке неуронске мреже, дубока стабла неуронских одлука).

У поглављу 6 биће описано креирање експерименталног сетапа за мерење силе ослањања, платформе са сензорима, као и повезивање и комуникација са компјутером и учитавање снимљених сигнала на платформу са ФПГА чипом.

У поглављу 7 биће описан коришћени скуп података, извршиће се балансирање узорка по полу, годинама, тежини итд. Поред тога, биће описана и процедура снимања и тип добијених података, као и начин на који се може прилагодити формат записа ради даљег коришћења у анализи добијеног сигнала.

У поглављу 8 биће приказана примена различитих алгоритама вештачке интелигенције у анализи снимљених сигнала силе ослањања. Неки од алгоритама ће бити наивни Бајес, фази логика, стабла одлучивања (енгл. *decision trees*), логистичка регресија, метода потпорних вектора (енгл. *support vector machines*), метода случајних шума (енгл. *random forest*) итд., због саме природе проблема која се поклапа са теоријском основом ових алгоритама вештачке интелигенције.

У поглављу 9 биће објашњена примена ФПГА чипа у процесу анализе сигнала силе ослањања ради убрзања извршавања алгоритама, али и креирања портабилне станице која не троши много енергије, преносна је, није гломазна и не зависи од оперативног система, конфигурације компјутера итд., а оријентисана је да буде једноставна за коришћење. Наравно тачност анализе помоћу ФПГА не сме бити мања у односу на тачност резултата коришћењем софтверских решења.

У поглављу 10 биће дата верификација добијених резултата, као и поређење добијених резултата са доступном литературом, и стављање добијених резултата у контекст објективне дијагностике.

У поглављу 11 биће дата закључна разматрања ове дисертације и правци будућих истраживања.

У поглављу 12 биће приказана цитирана литература.

### **3. Образложење теме за изradу докторске дисертације које омогућава закључак да је у питању оригинална идеја или оригиналан начин анализирања проблема**

Као резултат примене описане методологије и дијагностиковањем нивоа дискус херније, као и побољшања након операције и/или физикалне терапије, долазимо до значајних информација, које могу користити лекарима као подршка у одлучивању, при чему се примена инвазивних метода или доношења субјективних оцена слабости мишића мануелним тестовима може избећи. Кандидат је концептом свога рада дефинисао методологију која ће бити примењена у дисертацији. Комплетна методологија истраживања је приказана кроз неколико посебних поглавља која детаљно обрађују, како теоријски, тако и експериментални део, а редоследно чине целину са приказаним резултатима.

Експериментални део истраживања је добро осмишљен, а имплементација алгоритама хардверски и софтверски гарантује квалитетне и прецизне резултате. Оригиналност рада се огледа у анализи више од једног модалитета снимања (MRI снимци и сигнали са сензора), као и коришћење биомедицинских сигнала у детекцији дискус херније и одређивања побољшања након операције или физикалне терапије.

Дисертација има практичан карактер, јер овакав комплетан систем може да служи као подршка одлучивању лекару у дијагностици болести кичменог стуба. Применом резултата истраживања, који ће се добити у оквиру докторске дисертације, на реалан производ какав је систем за подршку одлучивању у медицинској дијагностици, оствариће се значајан допринос увођењу савремених метода истраживања у анализи болести кичменог стуба.

Комисија закључује да је предложена тема „Имплементација алгоритама вештачке интелигенције у обради биомедицинских сигнала као подршка одлучивању у дијагностици болести кичменог стуба“, кандидата Тијане Шуштершич, са образложеним предметом и циљевима рада, научним доприносима и очекиваним резултатима, насталим детаљном анализом доступних научних радова у научном и стручном смислу, оригинална идеја.

### **4. Усклађеност дефиниције предмета истраживања, основних појмова, предложене хипотезе, извора података, метода анализе са критеријумима науке уз поштовање научних принципа у изradi коначне верзије докторске дисертације**

Кандидат Тијана Шуштершич ће у својој докторској дисертацији обухватити све елементе савременог научно-истраживачког рада, поштујући основне критеријуме науке, научних циљева и метода анализе, имплементацијом постојећих и развијањем оригиналних идеја научног истраживања.

Кандидат ће детаљно проверити полазне хипотезе, теоријски - анализом обимне литературе и извора, у већини случајева новијег датума, као и експериментално.

У достављеној пријави теме, кандидат се служио одговарајућом терминологијом из области, која је предмет рада. Дефиниција предмета истраживања је усклађена са основним појмовима, предложеним хипотезама и методама истраживања. Кандидат је показао изразиту способност за селекцију и анализу литературних извора.

Будући да су циљеви истраживања проистекли из запажених недостатака и недовољне изражености проблема, добијени резултати представљали би оригиналан допринос истраживачкој области.

## **5. Преглед научно-истраживачког рада кандидата**

### **а. Лични подаци**

Тијана Шуштершич је рођена 31.05.1993. године у Крагујевцу, Република Србија. Основну школу "Мома Станојловић", у Крагујевцу, завршила је 2008. године, као носилац Вукове дипломе. Након завршетка основне школе уписала је Прву крагујевачку гимназију, природно-математички смер, коју је завршила 2012. године, такође као носилац Вукове дипломе.

Основне академске студије на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу уписала је 2012. године, а завршила 2015. године, на смеру за Примењену механику и аутоматско управљање, са просечном оценом у току студија 10,00 (десет и 00/100). Завршни рад под називом „Аутоматска локализација и тродимензионални приказ тумора мозга из реалних СТ снимака“, под менторством проф. др Александра Пеулића, одбранила је 30.06.2015. године, са највишом оценом. Након завршетка основних академских студија, 2015. године уписала је мастер академске студије на Факултету инжењерских наука, смер Машинско инжењерство, модул Примењена механика и аутоматско управљање. Мастер академске студије завршила је 2017. године са просечном оценом 10,00 (десет и 00/100). Мастер рад под називом „Имплементација алгорита за идентификацију особа на основу карактеристика лица“, под менторством проф. др Весне Ранковић, одбранила је 30.06.2017. године, са највишом оценом.

Основне и мастер академске студије завршила је као студент генерације. Током основних и мастер академских студија била је стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја за изузетно надарене ученике и студенте, као и Фонда за младе таленте „Доситеја“. Током мастер академских студија била је и стипендиста Истраживачко развојног центра за биоинжењеринг (BioIRC), где је након завршетка студија засновала радни однос.

Најпре је била запослена на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу као истраживач приправник од јула 2017. године на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије ОИ174028 „Методe моделирања на више скала са применама у биомедицини“. Одлуком Наставно-научног већа број 01-1/180-20 од 24.01.2019. године Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу изабрана је у звање асистент, а радни однос на истом факултету засновала је марта 2019. године.

Учествовала је у реализацији наставе на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу на предметима: Рачунарски алати, Експертски системи, Компјутерска графика, Софтверски инжењеринг, Биоинжењеринг и биоинформатика, Рачунарска графика, Вештачка интелигенција, Интелигентно управљање и Аутоматско управљање, Неуронске мреже, Системи за подршку одлучивању, Виртуелна реалност.

Докторске академске студије је уписала школске 2017/2018. године, на Факултету инжењерских наука, Универзитета у Крагујевцу. Положила је све предмете предвиђене планом и програмом, са просечном оценом 10.

#### **б. Научно-истраживачки рад**

Као аутор или коаутор објавила је укупно **28** радова у научно-стручним часописима, као и на међународним и домаћим научно-стручним скуповима.

#### **• Списак објављених радова**

##### **M21 Рад у врхунском међународном часопису**

1. Madžarević Marijana, Medarević Đorđe, Vulović Aleksandra, **Šušteršić Tijana**, Djuris Jelena, Filipović Nenad, Ibrić Svetlana: Optimization and prediction of ibuprofen release from 3D DLP printlets using artificial neural networks, *Pharmaceutics*, ISSN: 1999-4923, <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics11100544>, vol. 11, no. 10, pp. 544, 2019 (*M21a*)
2. Vulović Aleksandra, **Šušteršić Tijana**, Cvijić Sandra, Ibrić Svetlana, Filipović Nenad: Coupled in silico platform: Computational fluid dynamics (CFD) and physiologically-based pharmacokinetic (PBPK) modelling, *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, ISBN: 0928-0987, doi: 10.1016/j.ejps.2017.10.022, vol. 113, pp. 171-184, 2018.
3. Nikolić Milica, **Šušteršić Tijana**, Filipović Nenad: In vitro models and on-chip systems: Biomaterial interaction studies with tissues generated using lung epithelial and liver metabolic cell lines, *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, ISSN: 2296-4185, doi: 10.3389/fbioe.2018.00120, vol. 6, pp. 120, 2018.
4. **Šušteršić Tijana**, Ranković Vesna, Peulić Miodrag, Peulić Aleksandar: An Early Disc Herniation Identification System for Advancement in the Standard Medical Screening Procedure based on Bayes Theorem, *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, ISBN: 2168-2194, doi: 10.1109/JBHI.2019.2899665, vol. 24, no. 1, pp. 151-159, 2020.

##### **M23 Рад у међународном часопису**

1. Peulić Aleksandar, **Šušteršić Tijana**, Peulić Miodrag: Non-invasive improved technique for lumbar discus hernia classification based on fuzzy logic. *Biomedizinische Technik/Biomedical Engineering*, De Gruyter, ISSN (Print): 0013-5585, doi: <https://doi.org/10.1515/bmt-2018-0013>, vol. 64, no. 4, pp. 421-428, 2018.
2. **Šušteršić Tijana**, Liverani Liliana, Boccaccini Aldo R., Savić Slobodan, Janicijević Aco, Filipović Nenad: Numerical simulation of electrospinning process in commercial and in-



house software PAK, Materials Research Express, ISSN: 2053-1591, doi <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aaeb08>, vol. 6, no. 2, pp. 1-13, 2019.

3. **Šušteršič Tijana**, Peulić Aleksandar: Implementation of Face Recognition algorithm on Field Programmable Gate Array (FPGA). Journal of Circuits, Systems, and Computers, ISSN: 0218-1266, <https://doi.org/10.1142/S0218126619501299>, vol. 28, no. 8, pp. 1950129, 2019.

#### **M24 Рад у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком**

1. Ferouka Ilektra, **Šušteršič Tijana**, Živanović Marko, Filipović Nenad: Mathematical Modelling of Polymer Trajectory During Electrospinning, Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics, ISSN: 1820-6530, doi: 10.24874/jsscm.2018.12.02.02, vol. 12, no. 2, pp. 17-38, 2018.

#### **M33 Саопштење са међународног скупа штампано у целини**

1. **Šušteršič Tijana**, Mijailović Nikola, Milanković Ivan, Filipović Nenad, Peulić Aleksandar, SEGMENTATION AND THREE-DIMENSIONAL VISUALIZATION OF BRAIN TUMOR AND POSSIBILITY OF MAPPING SUCH ALGORITHMS ON HIGH PERFORMANCE RECONFIGURABLE COMPUTERS, 5th International Conference on Information Society and Technology (ICIST 2015), Kopaonik, Serbia, 2015, 8<sup>th</sup> - 11<sup>th</sup> March, pp. 455-459, ISBN: 978-86-85525-16-2
2. **Šušteršič Tijana**, Peulić Miodrag, Filipović Nenad, Peulić Aleksandar, APPLICATION OF ACTIVE CONTOURS METHOD IN ASSESSMENT OF OPTIMAL APPROACH TRAJECTORY TO BRAIN TUMOR, IEEE 15th International Conference on BioInformatics and BioEngineering (BIBE 2015), Belgrade, Serbia, 2015, 2<sup>nd</sup> - 4<sup>th</sup> November, pp. 187-190, ISBN: 978-1-4673-7984-7, DOI:10.1109/BIBE.2015.7367661
3. Vulović Aleksandra, **Šušteršič Tijana**, Filipović Nenad, FINITE ELEMENT ANALYSIS OF FEMUR DURING GAIT CYCLE, 4th South-East European Conference on Computational Mechanics - SEECCM 2017, Kragujevac, 2017, 3<sup>rd</sup> - 5<sup>th</sup> July, pp. 61-66, ISBN: 978-86-921243-0-3.
4. **Šušteršič Tijana**, Vulović Aleksandra, Cvijić Sandra, Ibrić Svetlana, Filipović Nenad, SIMULATION OF AEROSOL PARTICLE FLOW THROUGH DRY POWDER INHALER AEROLIZER®, 4th South-East European Conference on Computational Mechanics - SEECCM 2017, Kragujevac, 2017, 3<sup>rd</sup> - 5<sup>th</sup> July, pp. 52-60, ISBN: 978-86-921243-0-3
5. Vulović Aleksandra, **Šušteršič Tijana**, Filipović Nenad, FINITE ELEMENT ANALYSIS OF FEMORAL IMPLANT UNDER STATIC LOAD, 17th IEEE International Conference on Bioinformatics and Bioengineering, Washington DC, 2017, 23<sup>rd</sup> - 25<sup>th</sup> October, pp. 559-562, ISBN: 978-1-5386-1325-2

6. **Šušteršič Tijana**, Vulović Aleksandra, Cvijić Sandra, Ibrić Svetlana, Filipović Nenad, EFFECT OF CIRCULATION CHAMBER DIMENSIONS ON AEROSOL DELIVERY EFFICIENCY OF A COMMERTIAL DRY POWDER INHALER AEROLIZER®, 17th IEEE International Conference on Bioinformatics and Bioengineering, Washington DC, 2017, 23<sup>rd</sup> - 25<sup>th</sup> October, pp. 555-558, ISBN: 978-1-5386-1325-2.
7. **Šušteršič Tijana**, Vulović Aleksandra, Čekerevac Ivan, Suša Romana, Baumann Sebastien, Zisaki Aikaterini, Braojos Ruben, Rincón Francisco, Murali Srinivasan, Filipović Nenad, AUTOMATIC SLEEP APNEA/HYPOPNEA DETECTION BASED ON NASAL AIRFLOW SIGNAL. In: Konjović, Z., Zdravković, M., Trajanović, M. (Eds.) ICIST 2018 Proceedings, Kopaonik, Serbia, 2018, 11<sup>th</sup> - 14<sup>th</sup> March, vol.1, pp. 206 – 211, ISBN: 978-86-85525-22-3
8. **Šušteršič Tijana**, Nikolić Milica, Vrana Nihal Engin, Filipović Nenad, DISCRETE MODELLING OF LIVER CELL AGGREGATION USING PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS, Conference of Medical and Biological Engineering in Bosnia and Herzegovina (CMBEBIH), IFMBE Proceedings, Springer, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina, 2019, 16<sup>th</sup> – 18<sup>th</sup> May, vol 73, pp. 379 – 384, ISSN: 1680-0737, ISSN: 1433-9277 (electronic)
9. **Šušteršič Tijana**, Ranković Vesna, Filipović Nenad, DEVELOPMENT OF A USER-FRIENDLY APPLICATION FOR DICOM IMAGE SEGMENTATION AND 3D VISUALIZATION OF A BRAIN TUMOR, 19th International Conference on BioInformatics & BioEngineering (IEEE BIBE 2019), Athens, Greece, 2019, 28<sup>th</sup> - 30<sup>th</sup> October, pp. 507 – 510, doi: 10.1109/BIBE.2019.00098, ISBN: 2471-7819

#### **M34 Саопштење са међународног скупа штампано у изводу**

1. **Šušteršič Tijana**, Liverani Liliana, Boccaccini Aldo R., Savić Slobodan, Filipović Nenad, NUMERICAL SIMULATION OF ELECTROSPINNING USING PAK AND ANSYS SOFTWARE, Belgrade BioInformatics Conference 2018 (BelBi 2018), Biologia Serbica, 2018, 18<sup>th</sup> – 22<sup>nd</sup> June, vol. 40, no. 1, pp. 130, ISSN: 2334-6590
2. Ferouka Ilektra, **Šušteršič Tijana**, Živanović Marko, Filipović Nenad, DISCRETE SIMULATION OF ELECTROSPINNING JET'S EVOLUTION, Belgrade BioInformatics Conference 2018 (BelBi 2018), Biologia Serbica, 2018, 18<sup>th</sup> – 22<sup>nd</sup> June, vol. 40, no. 1, pp. 107, ISSN: 2334-6590
3. Nikolić Milica, **Šušteršič Tijana**, Saveljić Igor, Vrana Nihal Engin, Filipović Nenad, MODELLING OF MONOCYTES BEHAVIOUR INSIDE THE BIOREACTOR, Belgrade BioInformatics Conference 2018 (BelBi 2018), Biologia Serbica, 2018, 18<sup>th</sup> – 22<sup>nd</sup> June, vol. 40, no. 1, pp. 123, ISSN: 2334-6590
4. **Šušteršič Tijana**, Liverani Liliana, Boccaccini Aldo R., Filipović Nenad, ELECTROSPINNING PROCESS SIMULATION FOR THE APPLICATION IN PREDICTIVE CARDIOVASCULAR DISEASE, 13th World Congress on Computational

Mechanics (WCCM 2018), New York City, NY, USA, 2018, 22<sup>nd</sup> -27<sup>th</sup> July, pp. 3105, ISBN: 978-0-578-40837-8

5. **Šušteršič Tijana**, Şimşek Görkem M, Vrana, Nihal Engin, Filipović, Nenad, COMPUTATIONAL MODELLING OF CORROSION PROCESS IN MEDICAL IMPLANT SURFACES, 7th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Sremski Karlovci, Serbia, 2019, June 24<sup>th</sup> – 26<sup>th</sup>, pp. 180-182, ISBN: 978-86-909973-7-4
6. **Šušteršič Tijana**, Milovanović Vladimir, Ranković Vesna, Filipović Nenad, Peulić Aleksandar, MEDICAL IMAGE PROCESSING USING XILINX SYSTEM GENERATOR, Belgrade, Serbia, 2019, 4<sup>th</sup> - 6<sup>th</sup> September, pp. 90-91, ISBN: 978-86-81037-75-1
7. **Šušteršič Tijana**, Nikolić Milica, Barthes Julien, Vrana Nihal Engin, Filipović Nenad, COUPLING EXPERIMENTAL DATA AND NUMERICAL SIMULATION IN MODELLING EPITHELIAL BARRIER FORMATION WITH A549 CANCEROUS CELL LINE, Belgrade, Serbia, 2019, 4<sup>th</sup> - 6<sup>th</sup> September, pp. 47-48, ISBN: 978-86-81037-75-1

#### **M52 Рад у часопису националног значаја**

1. **Šušteršič Tijana**, Savić Slobodan, Šušteršič Vanja: Comparison of the pressure gradients obtained by calculation with the pressure gradients obtained by catheterization in patients with aortic valve stenosis, Journal of Serbian Society for Computational Mechanics, vol. 8, no. 1, pp. 36 - 44, ISBN: 1820-6530, UDC: 616.132-007.271:612.14, doi: 10.5937/jsscm1401036S, 2014

#### **M53 Рад у научном часопису**

1. **Šušteršič Tijana**, Vulović Aleksandra, Filipović Nenad, Peulić Aleksandar: FPGA Implementation of Face Recognition Algorithm, Research Article in Pervasive Computing Paradigms for Mental Health, Selected Papers from MindCare 2016, Fabulous 2016, and IIoT 2015, pp. 93-99, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-74935-8\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-74935-8_13), ISBN: 978-3-030-01093-5, 2018
2. Vulović Aleksandra, **Šušteršič Tijana**, Ranković Vesna, Peulić Aleksandar, Filipović Nenad: Comparison of Different Neural Network Training Algorithms with Application to Face Recognition Problem, EAI Endorsed Transactions on Industrial Networks and Intelligent Systems, vol. 18, no. 12, pp. e3, doi: 10.4108/eai.10-1-2018.153550, ISSN: 2410-0218, 2018
3. Filipović Nenad, **Šušteršič Tijana**, Vulović Aleksandra, Tsuda Akira: Big Data and machine learning: new frontier in lung cancer care, Shanghai Chest, vol 3, no. 51, pp. 1-11, doi: <http://dx.doi.org/10.21037/shc.2019.07.11>, ISSN: 2521-3768, 2019

#### • Учесће у научноистраживачким пројектима

Учествовала је у реализацији 7 научноистраживачка пројекта.

#### УЧЕШЋЕ НА ПРОЈЕКТИМА РЕСОРНОГ МИНИСТАРСТВА

1. Интердисциплинарни пројекат Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије: Методе моделирања на више скала са применама у биомедицини, ОИ14028, 2011 - 2019.

#### УЧЕШЋЕ НА МЕЂУНАРОДНИМ ПРОЈЕКТИМА

1. PANBioRa, Personalised and generalised integrated biomaterial risk assessment, H2020, Grant agreement No 760921, Project Coordinator: dr Nihal Engin Vrana, Protip Medical, Strasbourg, France, 01.01.2018 – 31.12.2021.
2. Билатерални пројекат Србија – Аустрија, Моделирање иновативних слушних имплантата уз помоћ коштане проводљивости звука, руководилац проф. др. Ненад Филиповић, 2016 - 2017.
3. Билатерални пројекат Србија – Словенија, Компјутерско моделирање и симулација морфолошко-метаболичких упаривања неуронског пресинаптичког терминала и астроцитног процеса, руководилац проф. др. Ненад Филиповић, 2018 - 2019.
4. SimInhale: Simulation and pharmaceutical technologies for advanced patient-tailored inhaled medicines, COST Action MP1404, 2015 - 2019.
5. OpenMultiMed: Open Multiscale Systems Medicine, COST Action CA15120, 2016 - 2020.
6. Bioneca: Biomaterials and advanced physical techniques for regenerative cardiology and neurology, COST Action CA16122, 2017 - 2021.

#### • Страни језици

Енглески језик: одлично познавање (поседује сертификате CAE, CPE, TOEFL)

Немачки језик: одлично познавање (поседује сертификат Goethe Zertifikat B2)

#### • Боравци и усавршавања у иностранству

1. Боравак на Универзитету у Пасау на летњем курсу немачког језика, у трајању од 30 дана, 3 – 28. август 2015. године, као стипендиста Bayerische Hochschulzentrum für Mittel-, Ost- und Südosteuropa (BAYHOST), German Courses Passau, Пасау, Немачка
2. Боравак на Albert-Ludwigs-Universität у Фрајбургу на летњем курсу немачког језика, у трајању од 15 дана, 5 - 28. септембар 2016. године, као стипендиста Deutscher

Akademischer Austauschdienst (DAAD) - Hochschulsommerkurse in Deutschland für ausländische Studierende und Graduierte, Deutsch für naturwissenschaft und Technik, Фрајбург, Немачка

3. Боравак на Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl Biomaterialien, Ерланген, Немачка, у трајању од 15 дана, 15 - 29. септембар 2017. године, као стипендиста организације European Virtual Institute on Knowledge-Based Multifunctional Materials AISBL (КММ-VIN).
4. Тренинг школа „The emerging role of fluid-particle dynamics and reduced methods in the context of in silico population studies for pulmonary drug development”, у оквиру пројекта SimInhale COST Action MP1404, 2 - 4. октобар 2017. године, Атина, Грчка
5. Тренинг школа „Systems Bioinformatics towards Network Medicine”, у оквиру пројекта OpenMultiMed COST Action CA15120, 29 – 31. мај 2018. године, Никозија, Кипар.
6. Тренинг школа „Systems Bioinformatics towards Network Medicine”, у оквиру пројекта SimInhale COST Action MP1404, 2 – 6. септембар 2018. године, Даблин, Ирска.
7. Летња тренинг школа у оквиру пројекта Bioneca COST Action CA16122, 22 - 25. октобар 2018. године, Дубровник, Хрватска.
8. Зимска тренинг школа Т6 у оквиру пројекта SimInhale OpenMultiMed COST Action CA15120, 4 – 8. фебруар 2019. године, Маврово, Македонија.
9. Летња тренинг школа у оквиру пројекта Bioneca COST Action CA16122, 7 - 10. октобар 2019. године, Ханија, Крит.

• **Награде и похвале**

1. Прво место у категорији механика флуида на Машинијадама 2015. и 2016. године и треће место у истој категорији 2014. године
2. Друго место за направљену и представљену Теслину безлопатичну турбину на Фестивалу поводом 160 година од рођења Николе Тесле под називом „Трагом Теслиних открића“, 2016. године
3. Прво место на такмичењу „Nethatlon“ истраживачких радова у виду постер презентација на тренинг школи у оквиру COST Action CA15120, Излаган је рад: Bayesian Network for Automatic Localization of Intervertebral Disc Herniation, COST Action CA15120

На основу свега наведеног у претходним тачкама овог извештаја Комисија доноси следећи

## ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

**Тијана Шуштершич, мастер инжењер машинства**, испунила је све предвиђене услове за одобрење израде докторске дисертације. Предложена тема докторске дисертације је оригинална и има научну заснованост. Предложена методологија израде докторске дисертације је у складу са научним принципима. Очекивани резултати докторске дисертације требало би да представљају оригинални научни допринос у имплементацији алгоритама вештачке интелигенције у обради биомедицинских сигнала као подршка одлучивању у дијагностици болести кичменог стуба. Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да наведену предложену тему за докторску дисертацију:

**„Имплементација алгоритама вештачке интелигенције у обради биомедицинских сигнала као подршка одлучивању у дијагностици болести кичменог стуба“**

прихвати и одобри њену израду кандидату **Тијани Шуштершич, мастер инжењеру машинства**. Комисија предлаже да коментори ове докторске дисертације буду др Весна Ранковић, редовни професор Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и др Ненад Филиповић, редовни професор Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

У Крагујевцу,  
19. 06. 2020. год.

КОМИСИЈА  


1. **Др Весна Ранковић**, редовни професор - председник комисије  
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу  
Уже научне области: Аутоматика и мехатроника,  
Примењена информатика и рачунарско инжењерство
2. **Др Ненад Филиповић**, редовни професор - члан  
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу  
Уже научне области: Примењена механика,  
Примењена информатика и рачунарско инжењерство
3. **Др Владимир Миловановић**, доцент – члан  
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу  
Уже научна област: Електротехничко и рачунарско инжењерство
4. **Др Лукас Расулић**, ванредни професор - члан  
Медицински факултет, Универзитет у Београду  
Уже научна област: Неурохирургија
5. **Др Војин Ковачевић**, доцент - члан  
Факултет медицинских наука, Универзитет у Крагујевцу  
Уже научна област: Хирургија